

Otrzymano: 2006.02.23  
Zaakceptowano: 2006.08.09

## The value of computed tomography virtual bronchoscopy in evaluating tumors of bronchial tree

Wartość wirtualnej bronchoskopii tomografii komputerowej w ocenie zmian nowotworowych płuc

Wadim Wojciechowski<sup>1</sup>, Andrzej Urbanik<sup>1</sup>, Marcin Zieliński<sup>2</sup>, Jacek Młodkowski<sup>2</sup>,  
Guy Marchal<sup>3</sup>, Walter De Wever<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Katedra Radiologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Polska

<sup>2</sup> Wojewódzki Samodzielny Publiczny Szpital Specjalistyczny Chorób Płuc im. dr O. Sokołowskiego w Zakopanem, Polska

<sup>3</sup> Katedra Radiologii Katolickiego Uniwersytetu w Leuven, Belgia

Adres autora: Wadim Wojciechowski, Katedra Radiologii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, 31-501 Kraków, ul. Kopernika 19, e-mail: wwadik@poczta.onet.pl

### Summary

**Background:**

The aim of the study was to find an optimal method of bronchial tree examination using CT virtual bronchoscopy and to evaluate the method for its diagnostic accuracy in the assessment of lung malignancies. Additionally, diagnostic accuracy of the used CT system was analyzed.

**Material/Methods:**

The examination was conducted in 154 patients from the University Hospital in Cracow and the University Hospital in Leuven (Belgium). The first group of patients was examined using single detector-row HeliCat Flash CT scanner (Philips Medical Systems) in the Department of Radiology of the University Hospital in Cracow. The second group of patients was examined using 16-detector-row Mx8000 IDT 16 CT scanner (Philips Medical System) in the University Hospital in Leuven, Belgium.

Lung lesions were evaluated by their central and segmental localization in bronchial tree and the degree of bronchial tree stenosis was assessed subsequently.

**Results:**

It was shown that singleslice CT virtual bronchoscopy allows a reliable evaluation of the lesions with central localization in bronchial tree, while diagnostic accuracy of multislice CT virtual bronchoscopy is comparable with bronchofiberscopy in the evaluation of lesions with central and segmental localization.

**Conclusions:**

As a result of the study it was concluded that type of the used CT system affected the obtained results. Multislice CT is more accurate in assessing the lesions localized in bronchial tree in considerably shorter time.

**Key words:**

Computed tomography • 3D imaging • virtual endoscopy • lung cancer

**PDF file:**

[http://www.polradiol.com/pub/pjr/vol\\_71/nr\\_4/8816.pdf](http://www.polradiol.com/pub/pjr/vol_71/nr_4/8816.pdf)

### Wstęp

Rak płuca jest jedną z najczęstszych przyczyn zgonów u pacjentów z chorobami nowotworowymi w większości

krajów świata. W roku 2000 na świecie stwierdzono 1.24 miliona przypadków raka płuca i stanowiły one 12.3% wszystkich nowych nowotworów, a liczba ta powiększa się o około 3% rocznie [1].

Rak płuca zwykle rozpoznawany jest stosunkowo późno, zazwyczaj w wysokim stopniu zaawansowania klinicznego, co przesądza o niezadowalającej skuteczności terapii. Wyniki odległe są bowiem tym korzystniejsze im wcześniej choroba zostaje wykryta i im wcześniej podjęte zostaje leczenie [2].

Rak płuca to schorzenie, gdzie tomografia komputerowa i bronchofiberoskopia mają wspólne zastosowanie jako techniki diagnostyczne i pozostają w układzie metod komplementarnych.

Obecnie bronchofiberoskopia pozostaje jedną z najważniejszych metod oceny układu oddechowego. Od momentu wprowadzenia klasycznej bronchoskopii przez niemieckiego laryngologa Gustawa Killiana w 1897 roku, technika bronchoskopii ulega ciągłym modyfikacjom, z których najważniejsze to wprowadzenie przez Shigeto Ikedę w 1966 roku bronchofiberoskopu [3]. Pozwoliło to na znaczne poszerzenie możliwości diagnostycznych. Szczególnie przydatne są – pobieranie wycinków, także materiału szczoteczką, biopsje węzłów chłonnych przez ścianę oskrzela, zastosowanie płukania oskrzelowo-pęcherzykowego [4].

Do wykrywania i ustalania stopnia zaawansowania raka płuca wg klasyfikacji TNM szczególne znaczenie ma tomografia komputerowa (TK). Umożliwia ona określenie wielkości guza, jego stosunku do narządów sąsiadujących, ocenę powiększenia węzłów chłonnych i obecności przerzutów. TK jest podstawą do ustalenia dalszego postępowania terapeutycznego czy to w przypadkach pierwszego i drugiego stopnia zaawansowania wg klasyfikacji TNM lub kwalifikacji do przedoperacyjnej chemioterapii indukcyjnej z następową resekcją guza pierwotnego w przypadkach wyższych stopni zaawansowania [5, 6]. Ogromne znaczenie TK dotyczy również oceny efektywności zastosowanego leczenia [7, 8].

Najnowsze generacje tomografów komputerowych dzięki wprowadzeniu spiralnej TK (sTK), a następnie spiralnej wielorzędowej TK (wTK), umożliwiły wykonywanie badania długich odcinków klatki piersiowej w czasie jednego wdechu. Postęp w dziedzinie tomografii komputerowej oraz komputerowego przetwarzania danych obrazowych pozwolił na wdrożenie do praktyki klinicznej nowej metody diagnostycznej w postaci wirtualnej bronchoskopii (WB). Metoda ta opiera się na komputerowym przetwarzaniu danych uzyskiwanych w czasie badania przy zastosowaniu spiralnej lub wielorzędowej tomografii komputerowej.

Pozwala ona na uzyskiwanie obrazów wnętrza drzewa oskrzelowego dotychczas dostępnych tylko w metodach endoskopowych. Metoda ta jest całkowicie nieinwazyjna. Dane obrazowe mogą być uzyskiwane w czasie standardowych badań TK klatki piersiowej wykonywanych u pacjentów z podejrzeniem choroby nowotworowej lub innych patologii w obrębie klatki piersiowej [9]. W licznych badaniach stwierdzono, że wirtualna bronchoskopia tomografii komputerowej (WBTK) jest obiecującą nieinwazyjną techniką oceny drzewa oskrzelowego w zakresie lokalizacji zmian nowotworowych i ocenie stopnia zwężenia oskrzeli. Stwierdzono jednocześnie, że wymaga dalszych szczegółowych badań oceniających jej skuteczność [9–12]. Temu celowi służyła podjęta praca.

## Materiał i metoda

W niniejszej pracy badanie tomografii komputerowej wykonano u 154 osób z dwóch ośrodków.

Grupę pierwszą stanowiło 98 pacjentów ze szpitala Specjalistycznego Chorób Płuc w Zakopanem. Badania TK wykonywano w Zakładzie Radiologii Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie. W badanej grupie czas pomiędzy WB i BF wynosił średnio  $4.47 \pm 4.80$  dni (0–14 dni). W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę badanej grupy.

Grupę drugą stanowiło 56 pacjentów diagnozowanych w Zakładzie Radiologii Szpitala Uniwersyteckiego w Leuven.

Odstęp między badaniami wirtualnej bronchoskopii i bronchofiberoskopii w każdym przypadku wynosił maksymalnie 14 dni. W badanej grupie czas pomiędzy WB i BF wynosił średnio  $-0.41 \pm 6.08$  dni (0–14 dni). Tabela 2 przedstawia charakterystykę badanej grupy.

U wszystkich pacjentów wykonano także bronchofiberoskopię (BF). W obydwu ośrodkach analizę danych przeprowadzono retrospektywnie.

## Protokół badania BF

Bronchofiberoskopia była wykonywana przy zastosowaniu równorzędnej klasy bronchoskopów firmy Pentax typu FB-18P w Zakopanem i Olympus typu BF160 w Leuven. Czas badania wynosił około 30 min. Po przejściu instrumentem do wnętrza drzewa oskrzelowego oceniano jego obraz makroskopowy. W przypadku stwierdzenia zmian w ścianie drzewa oskrzelowego, pobierano z jego powierzchni

**Table 1.** Characteristics of patients diagnosed in the Department of Radiology, University Hospital in Krakow.

**Tabela 1.** Charakterystyka pacjentów diagnozowanych w Zakładzie Radiologii Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie.

płeć	n	%	wiek (lata)	
			x ± SD	min – max
mężczyźni	87	88.8	60.3 ± 8.0	43 – 79
kobiety	11	11.2	53.6 ± 14	26 – 68
razem	98	100	59.5 ± 9.0	26 – 79

n – no. of patients, x – mean, SD – standard deviation, min – minimal values, max – maximal values

n – liczba pacjentów, x – średnia, SD – odchylenia standardowe, min – minimalne wartości, max – maksymalne wartości

**Table 2.** Characteristics of patients diagnosed in the Department of Radiology, University of Leuven.**Tabela 2.** Charakterystyka pacjentów diagnozowanych w Zakładzie Radiologii Szpitala Uniwersyteckiego w Leuven.

płeć	n	%	wiek (lata)	
			x ± SD	min – max
mężczyźni	47	83.93%	65.15 ± 8.4	50 – 82
kobiety	9	16.07%	64.44 ± 18.8	38 – 88
razem	56	100%	65.04 ± 10.53	38 – 88

n – no. of patients, x – mean, SD – standard deviation, min – minimal values, max – maximal values

n – liczba pacjentów, x – średnia, SD – odchylenia standardowe, min – minimalne wartości, max – maksymalne wartości

wycinki do badania histopatologicznego. W sytuacjach, kiedy badanie TK było wykonane jako pierwsze, wyniki wirtualnej bronchoskopii nie były dostępne przed badaniem BF. W opisie BF były odnotowywane:

### I. Lokalizacja zmian wg podziału na:

1. oskrzela centralne
2. oskrzela segmentarne

### II Stopień zwężenia oskrzeli

Stopień zwężenia światła oskrzela określono według trzy punktowej skali zaproponowanej przez Hoppe i wsp.:

- 1 stopień – zwężenie poniżej 1/3 światła oskrzela
- 2 stopień – zwężenie od 1/3 do 2/3 światła oskrzela
- 3 stopień – zwężenie powyżej 2/3 światła oskrzela

Wynik BF kopertowano i odtajniono po przeprowadzeniu analizy WB i wprowadzeniu wyników WB do bazy danych przygotowanej w programie Access pakietu Microsoft Office 97.

W przypadku obecności u jednego pacjenta więcej niż jednego zwężenia, każde z nich było analizowane oddzielnie.

### Protokół badania TK

U wszystkich badanych grupy I wykonywano spiralną tomografię komputerową za pomocą jednorzędowego skanera HeliCat Flash (Philips Medical System).

Skan spiralny o czasie trwania do 40 sek, szerokość warstwy 2.7 mm, pitch 1.5, rekonstrukcja warstw 1.3 mm, czas obrotu lampy 1 sek.

W przypadku grupy II tomografię komputerową wykonywano za pomocą szesnastorzędowego skanera TK Mx8000 IDT 16 (Philips Medical System). Skan spiralny o czasie trwania do 22 sek, szerokość kolimacji 16x0.75 mm, szerokość warstwy 1 mm, pitch 1.5, rekonstrukcja warstw 0.5 mm (50%), czas obrotu lampy 0.5 sek.

Badania wykonywano w pozycji leżącej na plecach na wdechu, w kierunku od głowy do stóp (craniocaudal).

W pierwszym etapie wykonywano akwizycję bez środka kontrastowego, a następnie po dożylnym podaniu średnio 70 ml (przepływ 2 ml/s, opóźnienie 30 sek.) niejonowego środka cieniującego, w celu lepszego obrazowania śródpierściowych struktur naczyniowych. W celu ułatwienia utrzymania bezdechu, zalecano pacjentom wykonanie jednorazowej hiperwentylacji bezpośrednio przed badaniem.

### Przetwarzanie danych obrazowych i uzyskiwanie obrazów WB

Po uzyskaniu danych obrazowych TK, w obydwu grupach, były one zapisywane w formacie DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) na płytach CD-ROM oraz przegrywane do konsoli satelitarnej „EasyVision” (Philips) do dalszej oceny. W tym celu użyto oprogramowanie „Endo 3D” firmy Philips. Zastosowanie jednego oprogramowania do postprocessingu danych z dwóch aparatów TK pozwoliło na ujednolicenie opracowania rekonstrukcji w opcji WB. Użyto algorytmu rekonstrukcyjnego Volume Rendering. Wartości threshold były ustawione w zależności od średnicy ocenianych oskrzeli. Do oceny oskrzeli centralnych użyto wartości –520 j. H., a do oceny oskrzeli segmentarnych stosowano wartość –720 j.H. [13]. W wyjątkowych przypadkach, przy obecności artefaktów w ścianie oskrzela, dobierano wartości threshold ręcznie i dla centralnych oskrzeli zakres wynosił od –400 do –550 j.H., dla segmentarnych od –500 do –800 j.H.; na podstawie zaleceń pracy Hoppe H. i wsp. [14].

Nawigacje w wirtualnej bronchoskopii każdorazowo wykonywano rozpoczynając od tchawicy przez oskrzela centralne ku obwodowi. Czas wymagany do oceny jednego pacjenta wynosił od 15 do 45 min.

### Analiza obrazów wirtualnej bronchoskopii TK

Wirtualna bronchoskopia była oceniana według wzorca określającego anatomię drzewa oskrzelowego do poziomu oskrzeli subsegmentarnych.

Na podstawie WB TK każdorazowo oceniano na takich samych zasadach jak w bronchofiberoskopii.

### Metody analizy statystycznej

Do opracowania baz danych i analizy statystycznej wyników wykorzystano oprogramowanie SAS System, wersja 8.1 (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA).

Do opisu cech ilościowych zastosowano średnią arytmetyczną ( $\bar{x}$ ), odchylenia standardowe (SD), wartość najmniejszą (min) i wartość największą (max). Obliczono wartości czułości, swoistości, dokładności rozpoznania, wskaźników predykcji dodatniej i ujemnej. Zostało wykonane porównanie zgodności wyników WB i BF przy użyciu statystyki Kappa.

Dodatkowo, oceny różnic rozkładu stopni zwężenia w poszczególnych oskrzelach w WB w porównaniu do BF dokonano przy zastosowaniu testu Chi-kwadrat. W przypadkach, w których wartość komórek była mniejsza niż 5 dodatkowo wykonywano test Fishera.

## Wyniki

### Ocena lokalizacji zmian

W grupie 154 osób oceniono łącznie 4158 obszarów drzewa oskrzelowego, w tym 1386 centralnych i 2772 segmentarnych. Ogółem stwierdzono 262 zwężenia światła oskrzeli w bronchofiberoskopii i 269 w wirtualnej bronchoskopii u 125 badanych ze zwężeniami w drogach oddechowych. U 29 osób nie stwierdzono zwężeń w BF i WB.

W tabeli 3 zestawiono uzyskane wyniki wskaźników skuteczności diagnostycznej WB przy zastosowaniu jedno i wielorzędowej TK w stosunku do BF i przedstawiony został podział na oskrzela centralne i segmentarne.

**Table 3.** Diagnostic accuracy parameters of virtual bronchoscopy in the evaluation of pathologies localized in bronchi (central and segmental) of the patients diagnosed in both radiological centres.

**Tabela 3.** Wskaźniki skuteczności diagnostycznej wirtualnej bronchoskopii w ocenie lokalizacji zmian wszystkich oskrzeli obu grup z podziałem na oskrzela centralne i segmentarne.

Wskaźniki skuteczności diagnostycznej	Oskrzel			
	Centralne		Segmentarne	
	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II
Czułość (%)	85.3	89.9	48.1	92.5
Swoistość (%)	96.3	99.5	99.4	99.1
Dokładność (%)	94.9	98.0	98.6	98.8
Wskaźnik predykcji dodatniej (%)	78.0	97.3	56.5	80.4
Wskaźnik predykcji ujemnej (%)	97.7	98.1	99.2	99.7
Kappa	0.79	0.92	0.51	0.85

**Table 4.** Grading of bronchial lumen obstructions on virtual bronchoscopy in both groups of patients.

**Tabela 4.** Stopniowanie zwężeń światła oskrzeli w wirtualnej bronchoskopii obu grup.

	Grupa I	Grupa II	Razem
Liczba ocenianych oskrzeli	2646	1512	4158
Ogólna liczba zwężeń	181	130	311
Prawidłowo ocenione	103 (56.91%)	93 (71.54%)	196
Przeszacowane zwężenia	44 (24.31%)	14 (10.77%)	58
Niedoszacowane zwężenia	34 (18.78%)	23 (17.69%)	57

W oskrzelach centralnych WB cechuje się wysokimi wskaźnikami skuteczności diagnostycznej zarówno w komputerowej tomografii jednorzędowej jak również szesnastorzędowej, z niewielką przewagą techniki wielorzędowej.

W ocenie oskrzeli segmentarnych stwierdzono wyraźną przewagę WB w komputerowej tomografii szesnastorzędowej.

### Ocena stopni zwężenia oskrzeli

W tabeli 4 przedstawiono porównawczą analizę ilościową stopnia zwężenia uwidocznionych w BF i WB dla obu grup.

W 16-rzędowej TK 93 zwężeń zostało prawidłowo określonych w WB co wyniosło 71.55% ogólnej liczby zwężeń. Analogiczny odsetek prawidłowych ocen WB w jednorzędowej TK wyniósł 56.91%. Również stwierdzono mniejszą liczbę zwężeń niedoszacowanych 17.69% vs 18.78%, jak i przeszacowanych 10.77% vs 24.31%.

## Omówienie wyników i dyskusja

### Jednorzędowa TK

W roku 1994 na zjeździe Radiologów Ameryki Północnej Vining i wsp. [15] przedstawili nową technikę prezentacji drzewa oskrzelowego w TK – wirtualną bronchoskopię TK.



Dwa lata później ukazały się prace przedstawiające wstępne oceny nowej techniki, a zarazem próby określenia ich przydatności [16–18]. Wskazały one na wysoką czułość WB – do 90%, a także jej wysoką swoistość – do ok. 98%. Wyniki te dotyczyły możliwości wykrywania zwężeń jedynie w oskrzelach centralnych. Jednak większość autorów zalecała przeprowadzić dalsze, szczegółowe badania, zastrzegając się, że prezentują wstępne wyniki.

W pracy Rapp-Benhardt i wsp. [19] została oceniona czułość i swoistość wirtualnej bronchoskopii, a dodatkowo obrazów przekrojów poprzecznych w porównaniu do bronchofiberoskopii. Okazało się, że czułość WB w tych badaniach określono na 93.8% przy 99.7% swoistości, podczas gdy czułość badania w wykrywaniu zmian widocznych na przekrojach poprzecznych wyniosła 92.9% przy 100% swoistości. Przy czym znacznie mniejsza była ilość ocen niedoszacowanych w WB w porównaniu do oceny przekrojów poprzecznych – 8 : 15. Autorzy tej pracy zwrócili również uwagę na fakt, iż na przekrojach poprzecznych bardzo trudno było ocenić rozległość zmiany nowotworowej. Tego problemu nie stwierdzono w WB, gdzie dokładnie była widoczna lokalizacja, stopień zwężenia oraz zakres nacieku. Autorzy również zwrócili uwagę na duże korzyści rekonstrukcji wielopłaszczyznowej (MPR) w ocenie rozległości nacieku. W tej pracy, podobnie jak w pracach innych autorów [16–18], została podkreślona konieczność komplementarnej oceny wszystkich rodzajów obrazów, nie tylko WB.

Fleiter i wsp. [20] w badaniach dotyczących centralnych zmian nowotworowych w obrębie drzewa oskrzelowego w jednorzędowej TK przedstawili wyniki, w których zwężenia dużego stopnia były doskonale widoczne. Grupa badawcza liczyła 20 osób, wśród których u 5 osób nie zostały uwidocznione dyskretne nacieki oraz ucisk z zewnątrz. Nie obliczono w tej pracy czułości i swoistości WB w stosunku do BF.

Rapp-Bernhardt i wsp. [19] w pracy z roku 1998 oceniając możliwości WB w jednorzędowej TK w przypadkach nacieku raka przełyku na drzewo oskrzelowe przedstawili grupę 21 osób, w której nie stwierdzili statystycznie znaczących różnic w ocenie lokalizacji i stopnia zwężenia oskrzela w wirtualnej bronchoskopii i bronchofiberoskopii.

Z kolei Liewald i wsp. [16] przeanalizował grupę 30 osobową z potwierdzonym w badaniu BF centralnym naciekiem raka płuca u których wykonano badanie WB. Trzydzieście zamknięć było dobrze widocznych zarówno w WB i BF. W dwóch przypadkach, przy obecności krytycznych zwężeń w drzewie oskrzelowym, udało się „przejsz” wirtualnym bronchoskopem dalej i ocenić sytuację poza przeszkodą. W pracy tej zwrócono uwagę na bardzo cenną właściwość WB – możliwość „przejścia” wirtualnym bronchoskopem poza zwężenie, a nawet zamknięte światło oskrzela. Na ten fakt zwrócili uwagę inni autorzy. Zgodnie ocenili, że uwidocznienie obszarów poza zwężeniem może mieć bardzo dużą wartość kliniczną [13, 21, 22]. W nawiązaniu do wyżej przedstawionych doświadczeń, w roku 1998, w Zakładzie Radiologii Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie rozpoczęto wykonywanie badań techniką wirtualnej bronchoskopii. W pracy z roku 1999 z naszego ośrodka, przedstawiono grupę 12 osób ze stwierdzonymi w badaniu BF zmianami w obrębie drzewa oskrzelowego. Było to opracowanie wstępne, w którym

stwierdzono, że czułość zwężeń powyżej 50% światła oskrzela oraz całkowitych zamknięcia wynosiła 100%. Jednocześnie zwrócono uwagę na brak możliwości przedstawienia nacieku podśluzówkowego. Czułość WB w takich przypadkach wyniosła 0%. Jednak w obrazach TK w płaszczyźnie poprzecznej we wszystkich przypadkach zlokalizowano zmianę i oceniono, że nacieka ona ścianę oskrzela [9]. Dlatego, w takich sytuacjach, aby poprawić skuteczność WB, zaleca się oceniać obrazy WB łącznie z obrazami w przekrojach poprzecznych i rekonstrukcjami MPR. Zwracają na to uwagę także inni autorzy [22, 23]. Dostępne oprogramowanie komputerowe pozwala na interaktywne obrazowanie rekonstrukcji 2D i 3D, przez to poprawia się sposób uwidocznienia zmian zarówno wewnątrz światła oskrzeli, jak i zmian położonych poza nim. Dla każdej pozycji wirtualnego endoskopu zlokalizowanego wewnątrz oskrzeli istnieje możliwość jednoczesowej korelacji z towarzyszącymi obrazami poprzecznymi lub rekonstrukcjami MPR. Pojawia się wtedy możliwość oceny struktur znajdujących się poza światłem oskrzeli, które mogą mieć wartość kliniczną, np. przy ocenie powiększonych węzłów chłonnych lub poszerzonego łuku aorty. Również skoagulowana krew może imitować zwężenie lub zamknięcie światła w drzewie oskrzelowym i tylko dokładna ocena kształtu oraz staranne porównanie z warstwami poprzecznymi mogą pozwolić na właściwe różnicowanie zmiany od złazisk przypadkowych.

W porównaniu do przedstawionych opracowań, w pracy własnej nie przeprowadzono analizy skuteczności przekrojów poprzecznych oraz rekonstrukcji wielopłaszczyznowych. Z góry wiadomo, że połączenie różnych technik rekonstrukcyjnych znacznie zwiększa możliwości diagnostyczne WB. Realizując cele pracy porównywano bronchofiberoskopię i wirtualną bronchoskopię TK.

Analizując uzyskiwane, własne dane stwierdzono, że czułość WB w uwidacznianiu centralnie zlokalizowanych zwężeń, w porównaniu do BF, wyniosła 85.2% a swoistość – 96.3%. Inaczej kształtowały się wskaźniki skuteczności diagnostycznej WB w diagnostyce zwężeń oskrzeli segmentarnych, bowiem okazały się znacznie niższe od analogicznych wskaźników uzyskanych w ocenie zwężeń oskrzeli centralnych. Czułość wyniosła 48.1%, wartość predykcyjna dodatnia – 56.5%, a wartość współczynnika Kappa – 0.51. Przy tak niskich wartościach swoistość sięgała 99.4%, dokładność rozpoznania – 98.6%, a wartość predykcyjna ujemna – 99.2%. WB cechowała się wysoką skutecznością wykluczenia zmian w tych przypadkach, w których nie obserwowano patologii w BF, a jej możliwości w uwidocznianiu patologii są na średnim poziomie (Kappa – 0.51).

W związku ze stwierdzanymi niskimi wartościami niektórych wskaźników skuteczności diagnostycznej dokonano dodatkowej analizy w celu ustalenia przyczyny tego faktu. Po wnikliwej analizie wyników BF okazało się, że do błędnej interpretacji – stwierdzenie zwężenia w WB – dochodziło w oskrzelach głównych obu płuc. Okazało się, że w tych przypadkach w BF uwidoczniono gęstą wydzielinę oskrzelową, która imitowała zwężenie w WB co było przyczyną rozbieżności wyników WB i BF (wyniki fałszywie dodatnie).

Autorzy pierwszych prac oceniających WB jako główną przyczynę fałszywie dodatnich wyników podawali artefakty ruchowe i oddechowe związane z ograniczeniem zdolności

do dłuższego zatrzymywania oddechu [24]. Przyczyną tego był stosunkowo długi czas skanowania przy jednoczesnym stosowaniu cienkich warstw, co z kolei było związane z technicznymi ograniczeniami jednorzędowej TK [19, 25].

W obecnie przedstawionej pracy analizowano także możliwość określenia stopnia zwężenia oskrzela w jednorzędowej TK w zależności od ich lokalizacji.

Zdolność WB w określeniu stopnia zwężenia oskrzeli w jednorzędowej TK zależała od lokalizacji zmian: w oskrzelach centralnych prawidłowo ocenionych zostało 62.50% zwężeń, przeszacowano stopień zwężenia w 23.61%, a niedoszacowano w 13.89% przypadków. Wyniki te są podobne do wyników uzyskanych w pracy Rapp-Bernhard i wsp. [12] gdzie prawidłowo ocenionych zostało 60% zwężeń, przeszacowano stopień zwężenia w 13.33%, a niedoszacowano w 26.67% przypadków.

W oskrzelach segmentarnych liczba prawidłowo ocenionych zwężeń sięgała poziomu 35.14%, natomiast przeszacowano stopień zwężenia w 27.03%, a niedoszacowano w 37.84% przypadków. Wyniki te wykazują bardzo niską zdolność oceny zmian w oskrzelach segmentarnych.

Wobec powyższego można stwierdzić, że w przypadku WB w jednorzędowej TK jej przydatność ogranicza się do możliwości oceny światła oskrzeli centralnych centralnych (Ryc. 1a-f i 2a-d).

### Wielorzędowa TK

Po wprowadzeniu wielorzędowej TK pojawiła się kolejna grupa prac oceniających wirtualną bronchoskopię w tomografii komputerowej z wykorzystaniem tej nowej techniki [21, 26–28]. Stwierdzono, że TK z opcją WB pozwala również na ocenę dystalnych gałęzi drzewa oskrzelowego (istnieje możliwość osiągnięcia 4 i 5 generacji dróg oddechowych) niedostępnych w badaniu BF [14].

Khan i wsp. [28] porównywali szerokość warstwy 1,5 mm z szerokością warstwy 0.75 mm w 16-rzędowej TK, przy niezmiennych pozostałych parametrach i stwierdzili, że mniejsze wartości szerokości warstwy pozwalają na głębszą penetrację w dalsze generacje dróg oddechowych. Autorom tej pracy udało się przedstawić oskrzela o średnicy poniżej 5 mm, a w pewnych przypadkach zakres nawet do oskrzeli ósmego podziału. Niestety, w tej pracy nie przedstawiono obliczeń czułości i swoistości WB, ponieważ nie przeprowadzono porównania z metodą referencyjną, czyli BF.

Dokładnej analizy wykorzystując wielorzędową TK dokonali Finkelstein i wsp. [24] w roku 2002. Grupa badana liczyła 20 osób ze zmianami nowotworowymi płuc. W przypadku krytycznych zwężeń lub zamknięć światła drzewa oskrzelowego czułość WB wyniosła 100%. W przypadku zwężeń małego stopnia czułość WB wyniosła 82%, a w ocenie zmian śluzówkowych – 0%. Swoistość w tej pracy wyniosła 100% i nie zależała od stopnia zwężenia oskrzeli.

Rok później Finkelstein i wsp. [29] przedstawili pracę z większym materiałem, który liczył 44 osoby. Czułość WB w uwidocznieniu wewnątrzoskrzelowej patologii wyniosła 90%, również przy 100% swoistości.

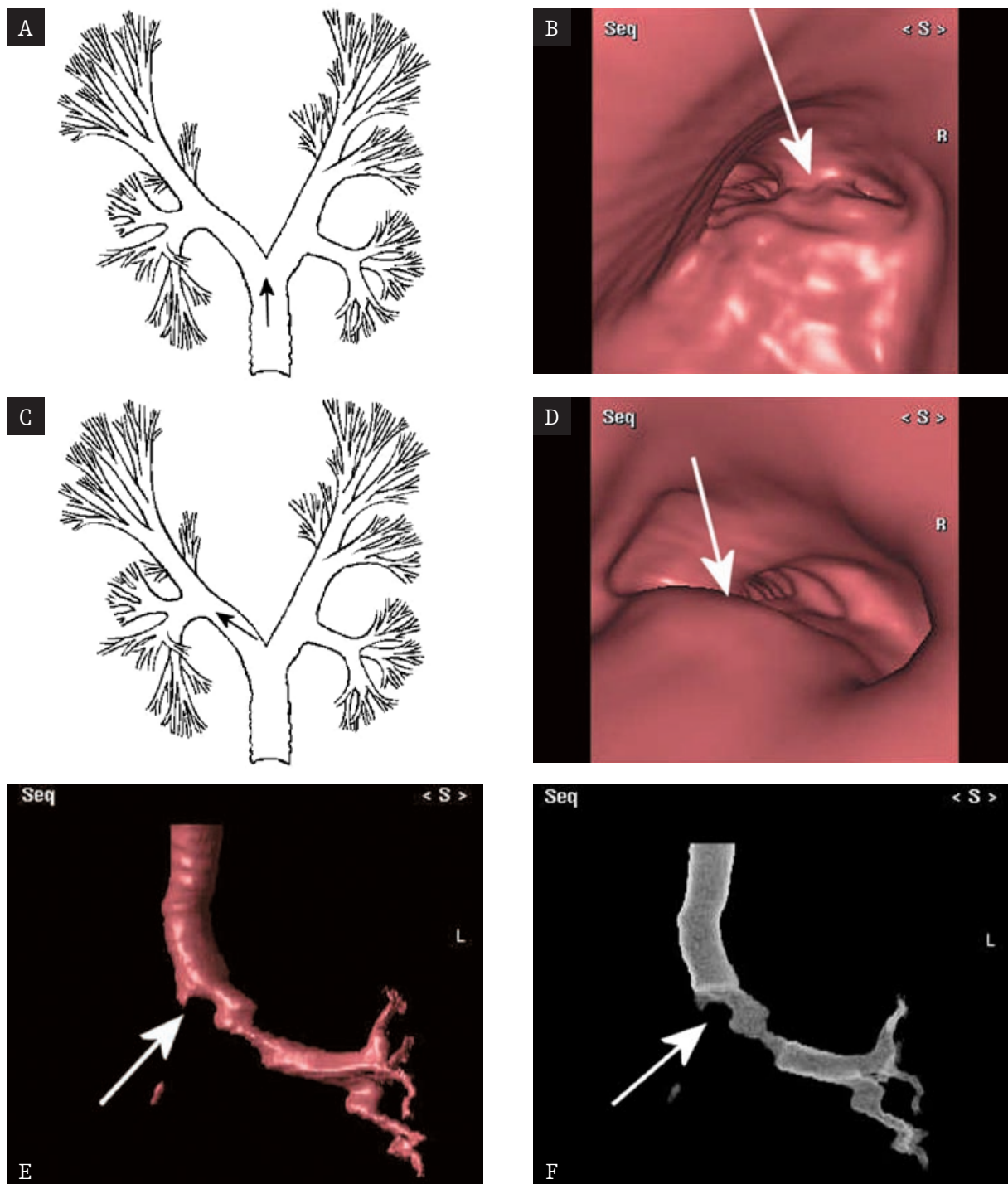
Hoppe i wsp. [11] w roku 2002 dokładnie opisali wirtualną bronchoskopię w wielorzędowej TK, z uwzględnieniem oceny stopnia zwężenia oskrzeli. Badanie dotyczyło tylko oskrzeli centralnych. Dodatkowo, oceniono przekroje poprzeczne i rekonstrukcje w dwóch płaszczyznach – czołowej i strzałkowej. W tej pracy czułość i swoistość wirtualnej bronchoskopii wynosiły odpowiednio 90.9% i 98.9%. Dokładność rozpoznania wynosiła 98% i była większa od dokładności uzyskiwanej tylko przy ocenie przekrojów poprzecznych (96%), rekonstrukcji w płaszczyźnie czołowej (96%) oraz płaszczyźnie strzałkowej (96.5%). Stwierdzono przy tym dobrą korelację pomiędzy WB i BF w ocenie stopnia zwężenia oskrzeli spowodowanego naciekami zarówno wewnątrz światła, jak też uciskiem od zewnątrz.

W swojej następnej pracy Hoppe i wsp. [14] w roku 2004 przedstawili bardziej szczegółową analizę skuteczności WB. Przede wszystkim, podzielili drzewo oskrzelowe na oskrzela centralne i segmentarne i osobno obliczyli wskaźniki skuteczności diagnostycznej. W przypadku oskrzeli centralnych czułość i swoistość metody wyniosła 90% i 96.6%, a w oskrzelach segmentarnych 90% i 95.6%. Dokładność rozpoznania zarówno w ocenie oskrzeli centralnych i segmentarnych wynosiła 95.5%.

W prezentowanej pracy czułość WB w uwidacznianiu centralnie zlokalizowanych zwężeń wynosiła 89.9%, przy bardzo wysokiej swoistości – 99.5% i dokładności rozpoznania – 98%. Dodatnia wartość predykcyjna wynosiła 97.3%, a ujemna – 98.1%. Wartość statystyki Kappa wyliczono na 0.92. Wyniki te wskazują na bardzo dużą zgodność w ocenie lokalizacji zwężeń BF i WB. W diagnostyce zwężeń w oskrzelach segmentarnych wskaźniki skuteczności diagnostycznej WB wynosiły: czułość – 92.5%, swoistość – 99.1%, dokładność rozpoznania – 98.8%. Dodatnia wartość predykcyjna wyniosła 80.4%, a ujemna – 99.7%. Wartość statystyki Kappa wykazuje 0.85 – wskazuje również na bardzo dużą zgodność wyników WB i BF.

W niniejszej pracy, wskaźniki czułości, swoistości oraz dokładności rozpoznania w ocenie oskrzeli segmentarnych są nieco wyższe w porównaniu do pracy Hoppe i wsp. [14] z roku 2004. Ten fakt można wytłumaczyć tym, że w niniejszej pracy stosowano system szesnastorzędowy, a w cytowanej – czterorzędowy. Chociaż w obu pracach szerokość warstwy była ustalona na 1 mm, to w cytowanej pracy nie użyto 50% odstepu rekonstrukcji, a tylko – 100%. Mogło to również mieć wpływ na wskaźniki skuteczności diagnostycznej.

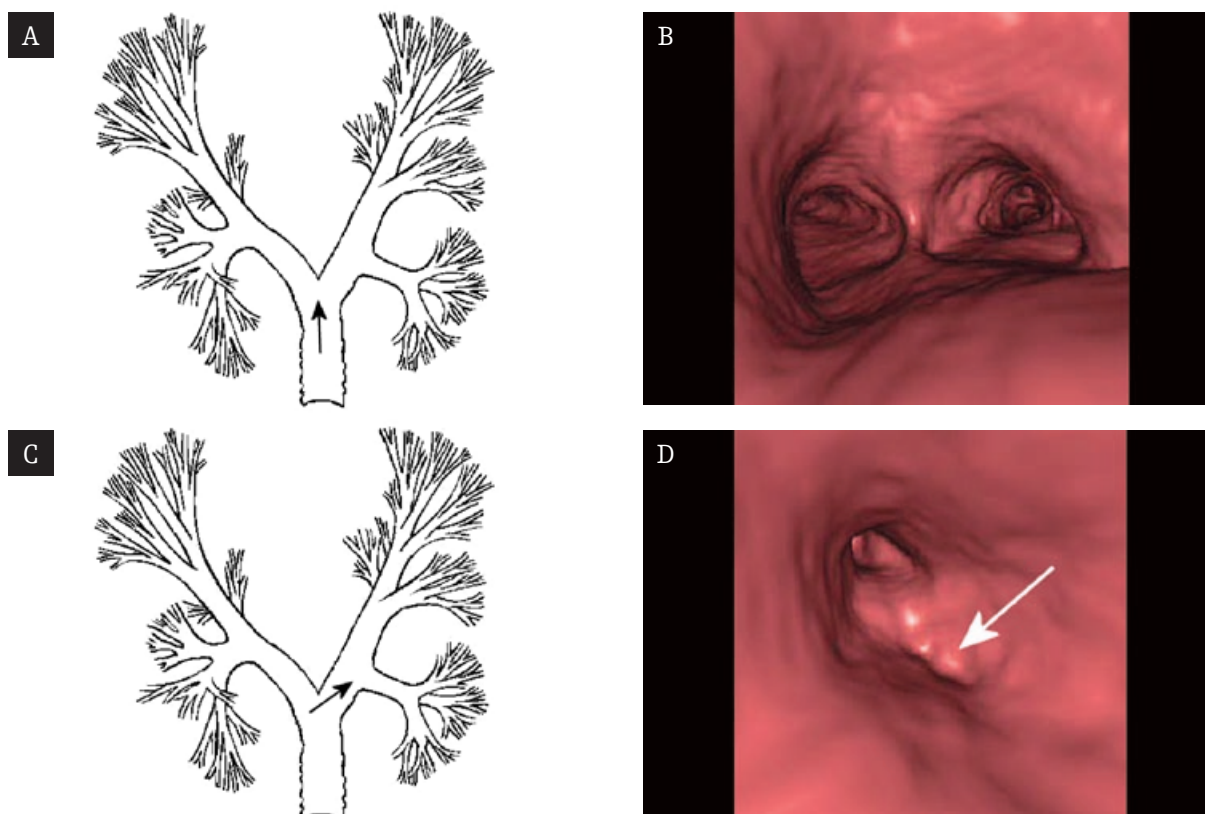
Oceniając błędne rozpoznania obecności zwężeń w WB autorzy niniejszej pracy stwierdzili, że błędna interpretacja wyników, najczęściej dotyczyła oskrzeli języczka (LB5), gdzie głównie obserwowano fałszywie dodatnie wyniki. Również często do błędnej interpretacji dochodziło w oskrzelach podstawnych płuca prawego. Poszukując odniesienia do tego spostrzeżenia w piśmiennictwie autorzy stwierdzają, że podobne spostrzeżenia zawierają dwie prace [14, 28]. Hoppe i wsp. [14] opisali takie zjawisko tłumacząc je tym, że występuje ono w oskrzelach o przebiegu równoległym do płaszczyzny skanowanej warstwy. Z kolei Khan i wsp. [28] zaproponowali inne tłumaczenie błędnej interpretacji wyników WB w tej lokalizacji. Zauważyli, że w przypadkach, w których badanie BF zostało wykonane



**Figure 1.** Virtual bronchoscopy images (Single-detector row CT) – tracheal obstruction in the distal part and occlusion of the upper and lower bronchial lobe. **A.** Diagram. Trachea – visible main carina in the distal part. **B.** Virtual bronchofiberscopy images (Single-detector row CT). Distally visible mass occluding trachea lumen to about 50% (arrow). **C.** Diagram. Left main bronchus – visible upper and lower bronchial lobe. **D.** Single-detector row CT image. Obstruction in the area of bronchial bifurcation into the upper and lower bronchus (arrow). **E.** 3D image (SSD algorithm). Right upper lobe bronchial obstruction (arrow). Infiltration involving left main bronchus. **F.** 3D image (algorithm VR). Right upper lobe bronchial obstruction (arrow). Infiltration involving left main bronchus.

**Rycina 1.** Obrazy wirtualnej bronchoskopii (aparatury jednorzędowej) – zwężenie dystalnej części tchawicy oraz zamknięcie oskrzela płata górnego i dolnego. **A.** Schemat. Tchawica – w dystalnej części widoczna ostroga główna. **B.** Obraz wirtualnej bronchoskopii. W dystalnej części masy zwężające światło tchawicy do ok. 50% (strzałka). **C.** Schemat. Oskrzel główny lewy – widoczne oskrzela płata górnego i dolnego. **D.** Obraz WB. Zwężenie w okolicy podziału oskrzela głównego na oskrzela górne i dolne (strzałka). **E.** Obraz 3D (algorytm SSD). Niedrożne oskrzelo górnopłatowe prawe (strzałka). Nacieki wstępują do oskrzela głównego lewego. **F.** Obraz 3D (algorytm VR). Niedrożne oskrzelo górnopłatowe prawe (strzałka). Nacieki wstępują do oskrzela głównego lewego.





**Figure 2.** Virtual bronchoscopy images (single-detector row CT images) – upper lobe bronchial obstruction of the right lung. **A.** Diagram. Trachea – visible main carina in the distal part. **B.** Virtual bronchoscopy image. No abnormalities detected. **C.** Diagram. Right main bronchus – visible bifurcation into upper right and intermediate bronchi. **D.** Virtual bronchoscopy image. Upper right bronchial obstruction (arrow).

**Rycina 2.** Obrazy wirtualnej bronchoskopii (aparatus jednorzędowej) – niedrożne oskrzela płata górnego płuca prawego. **A.** Schemat. Tchawica – w dystalnej części widoczna ostroga główna. **B.** Obraz wirtualnej bronchoskopii. Nie stwierdzono zmian patologicznych. **C.** Schemat. Oskrzel główny prawy widoczny podział na oskrzela górne prawe i pośrednie. **D.** Obraz wirtualnej bronchoskopii. Niedrożne oskrzela płata górnego płuca prawego (strzałka).

po WB, często ujawniano obecność wydzieliny oskrzelowej w miejscach gdzie WB określiła jako potencjalnie zmienione. Dlatego autorzy niniejszej pracy zalecili wyksztuszenie ewentualnej wydzieliny oskrzelowej przed badaniem. Dodatkowo, autorzy [28] zalecili zwracać szczególną uwagę na kształt mas znajdujących się wewnątrz światła drzewa oskrzelowego, ponieważ według nich, wydzielina oskrzelowa ma charakterystyczny kształt i położenie.

Problem różnicowania nacieku i wydzieliny oskrzelowej podnieśli także Finkelstein i wsp. [29]. Autorzy ci zwrócili uwagę na fakt, że w wielorzędowej TK, bez dodatkowego narażenia pacjenta na promieniowanie jonizujące, można w dalszej obróbce wykonać rekonstrukcje wtórne przy zastosowaniu filtrów o wysokiej rozdzielczości (Super High-Resolution CT – SHR-CT). W ten sposób autorzy są zdania, że na obrazach SHR-CT, w porównaniu z obrazami konwencjonalnymi TK w płaszczyźnie poprzecznej, znacznie łatwiej można odróżnić zmiany lite od wydzieliny oskrzelowej. Dlatego autorzy proponują jak najczęściej stosować rekonstrukcje wtórne przy użyciu filtrów wyodrębiających.

Zdaniem autorów niniejszej pracy, źródłem błędów mogą być dwa zjawiska. Równoległe do płaszczyzny skanowania ułożenie oskrzeli sprzyja powstawaniu zjawiska częściowej objętości, będącego źródłem błędów. Również zaleganie wydzie-

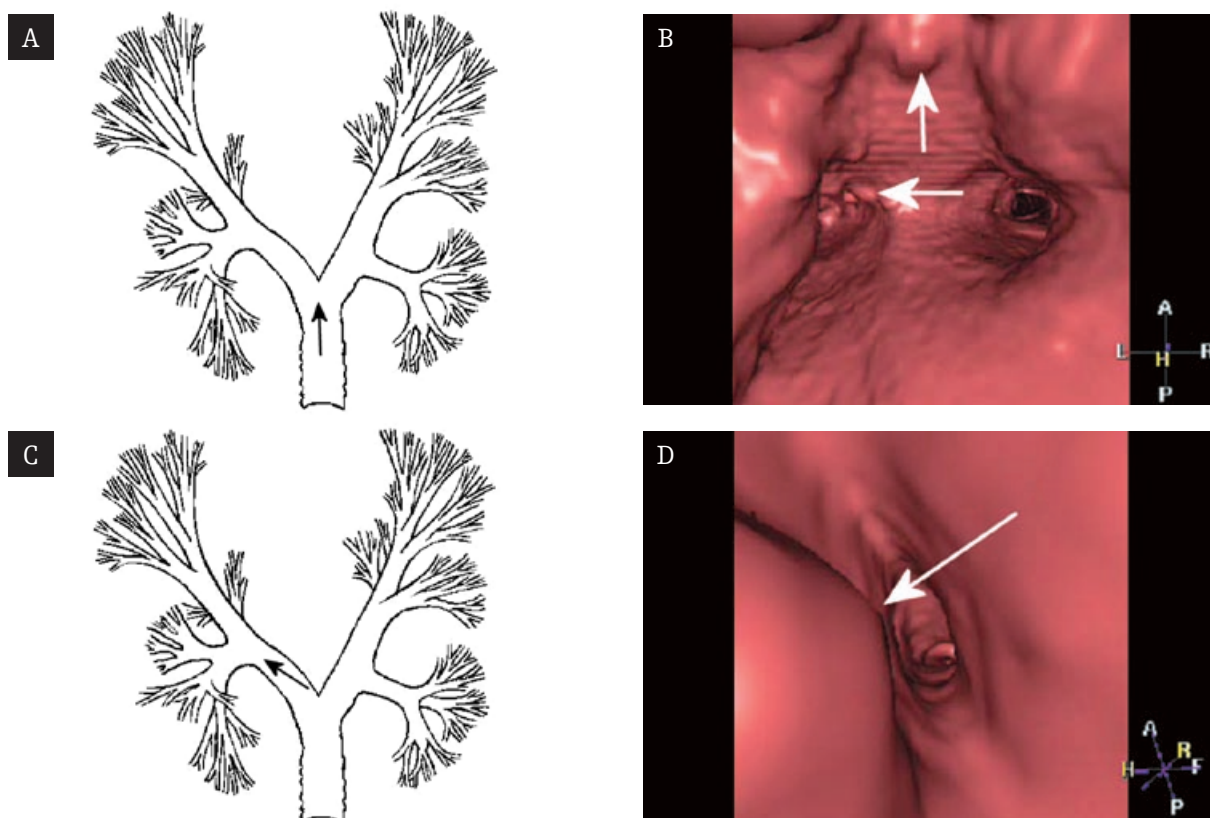
liny oskrzelowej może mieć wpływ na powstanie błędów, dlatego w protokole u wszystkich pacjentów stosowano 30 sekundową hiperwentylację przed wykonaniem akwizycji.

W materiale własnym zdolność WB w określaniu stopnia zwężenia oskrzeli w 16-rzędowej TK, podobnie do tomografii jednorzędowej, zależała od lokalizacji zmian. I tak, w oskrzelach centralnych, prawidłowo ocenionych zostało 74.07% ogólnej liczby zwężeń, a w oskrzelach segmentarnych wynik prawidłowo ocenionych zwężeń sięgał poziomu 67.35% ogólnej liczby zwężeń.

Autorzy cytowanej uprzednio pracy Hoppe i wsp. [14] stwierdzili, że zdolność WB do oceny stopnia zwężenia w oskrzelach centralnych i segmentarnych była wyższa niż w pracy własnej i wyniosła 94.7%.

Przyczyna rozbieżności wyników obu prac może wynikać z doboru badanych grup. Różnicę można wyjaśnić tym, że grupa własna liczyła 56 osób, a w cytowanej pracy tylko 20 osób. Również inny był rozkład różnych stopni zwężenia. W niniejszej pracy prawie połowa zwężeń została oceniona jako stopień II (zwężenie od 1/3 do 2/3 światła oskrzela), czyli najtrudniejszy do jednoznacznej oceny. Z kolei w pracy Hoppe i wsp. [14] większość zwężeń była zaliczana do I lub III stopnia.





**Figure 3.** Virtual bronchoscopy image (16-detector row CT) – Obstruction of the main bronchus of the left lung. **A.** Diagram. Trachea – visible main carina in the distal part. **B.** Virtual bronchoscopy image. Submucosal metastatic lesions localized bilaterally (arrows). **C.** Diagram. Left main bronchus – visible upper and lower lobe bronchi. **D.** Virtual bronchoscopy image. Obstruction in the area of bifurcation into upper and lower bronchi (arrow).

**Rycina 3.** Obrazy wirtualnej bronchoskopii (aparat 16-rzędowy) – zwężenie oskrzela głównego płuca lewego. **A.** Schemat. Tchawica – w dystalnej części widoczna ostroga główna. **B.** Obraz wirtualnej bronchoskopii. Obustronnie widoczne podśluzówkowe zmiany przerzutowe (strzałki). **C.** Schemat. Oskrzel główny lewy – widoczne oskrzela płuca górnego i dolnego. **D.** Obraz wirtualnej bronchoskopii. Zwężenie w okolicy podziału oskrzela głównego na oskrzela górne i dolne (strzałka).

Na podstawie własnej pracy można stwierdzić, że wielorzędowa TK w ocenie drzewa oskrzelowego cechuje się bardzo wysokimi wskaźnikami skuteczności diagnostycznej w lokalizacji zmian, zarówno w obrębie oskrzeli centralnych, jak i w oskrzelach segmentarnych (Ryc. 3a-d i 4a-f). Stwierdzono także wysoką zdolność określania stopnia zwężenia centralnych i segmentarnych oskrzeli.

#### Porównanie WB w jednorzędowej i wielorzędowej TK

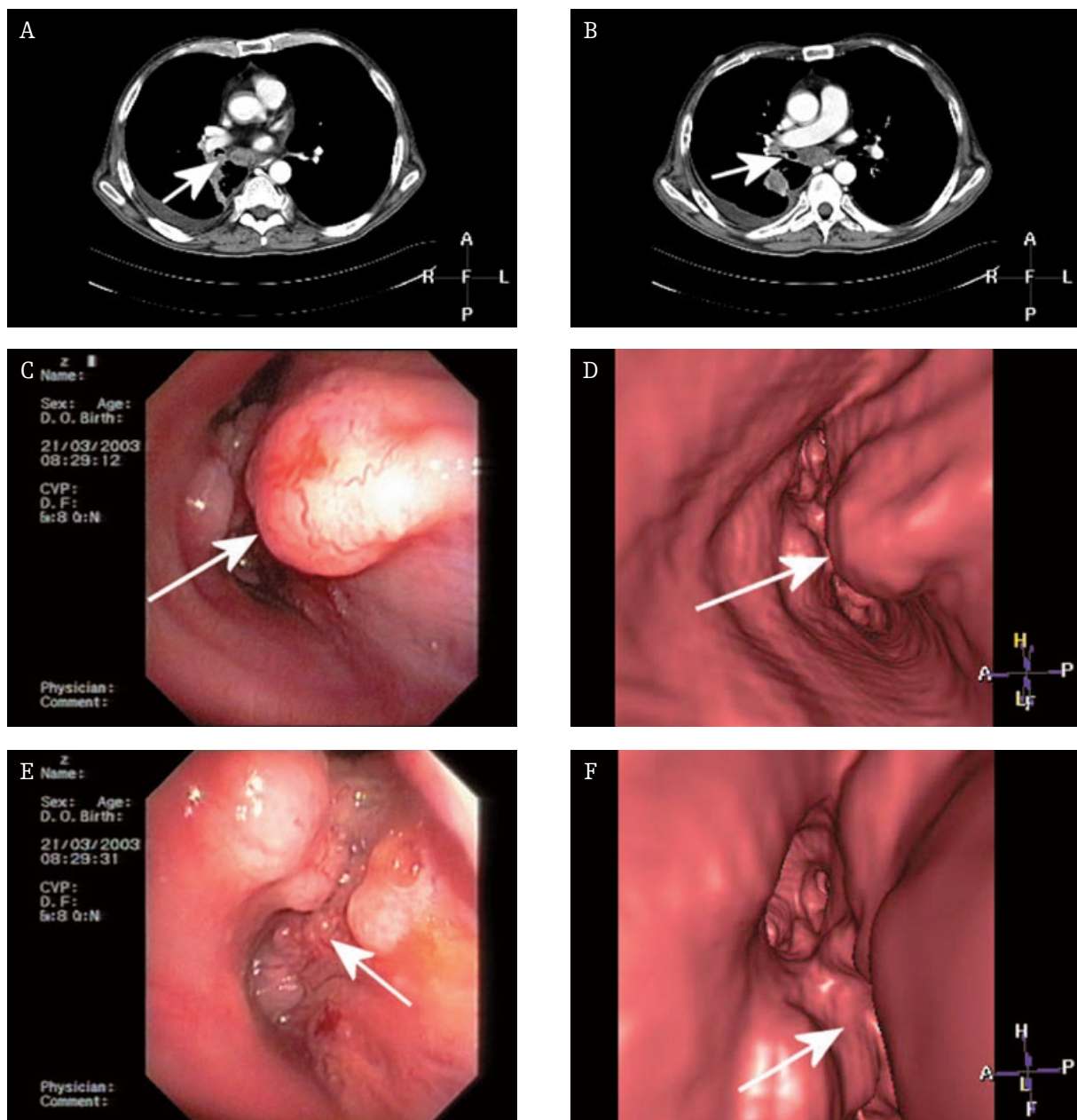
W roku 2005 opublikowano meta-analizę prac oceniających skuteczność wirtualnej bronchoskopii jako narzędzia w rozpoznawaniu i ocenie stopnia zaawansowania nowotworów płuc. Łącznie do tej analizy włączono 17 prac, w których zbadano 459 pacjentów. Czułość WB oceniona na 84%, a swoistość na 75%, co jeszcze raz potwierdziło wiarygodność tej metody [30]. Istotną wadą tej pracy jest brak oceny wpływu zastosowanego sprzętu TK na wskaźniki skuteczności diagnostycznej. Przede wszystkim nie porównano aparatów jedno i wielorzędowych.

W pracy własnej stwierdzono, że w oskrzelach centralnych WB cechowała się wysokimi wskaźnikami skuteczności diagnostycznej zarówno w tomografii jednorzędowej jak również wielorzędowej, z niewielką przewagą tomografii wielorzędowej. Czułość, swoistość i dokładność

WB w jednorzędowej TK w stosunku do BF określono na 85.3%, 96.3% i 94.9%. Podczas gdy w wielorzędowej TK wskaźniki te wyglądały następująco: 89.9%, 99.4% i 98.0%. W ocenie oskrzeli segmentarnych stwierdzono wyraźną przewagę tomografii wielorzędowej. Czułość, swoistość i dokładność WB w wielorzędowej TK w stosunku do BF określono na 48.1%, 99.4% i 98.6%. Podczas gdy w wielorzędowej TK wskaźniki te wyglądały następująco: 92.5%, 99.1% i 98.8%.

Przeanalizowano stopnie zwężenia oskrzeli centralnych i segmentarnych w obu grupach. Porównując wyniki prawidłowo ocenionych oskrzeli stwierdzono, że 16-rzędowa TK pozwala na większą liczbę prawidłowo ocenionych oskrzeli. Liczba zwężeń wynosiła 71.5% ogólnej liczby zwężeń, podczas gdy w 1-rzędowej TK tylko 56.9%.

Reasumując, w pracy własnej stwierdzono, że wirtualna bronchoskopia w jednorzędowej TK pozwala na wiarygodną ocenę zmian wyłącznie w oskrzelach centralnych. Natomiast wirtualną bronchoskopię w wielorzędowej TK cechuje porównywalna do BF skuteczność diagnostyczna w ocenie zmian zarówno w oskrzelach centralnych, jak również w oskrzelach segmentarnych. W analizie stopnia zwężenia oskrzeli liczba zgodnych z BF wyników była wyraźnie większa w wielorzędowej TK.



**Figure 4.** Virtual bronchoscopy image (16-detector row CT) – Intermediate bronchus obstruction. **A.** CT transverse cross-section. Expansion of the process to the intermediate bronchus (arrow). **B.** CT transverse cross-section. Expansion of the process to the distal part of intermediate bronchus (arrow). **C.** Bronchofiberscopy image. Polypous lesions in the intermediate bronchus (arrow). **D.** Virtual bronchoscopy image. Polypous lesions in the intermediate bronchus (arrow). **E.** Bronchofiberscopy image. Occlusion of the intermediate bronchus (arrow). **F.** Virtual bronchoscopy image. Intermediate bronchus obstruction without occlusion (arrow).

**Rycina 4.** Obrazy wirtualnej bronchoskopii (aparząd 16-rzędowy) – zwężenie oskrzela pośredniego. **A.** Przekrój poprzeczny TK. Proces ekspansywny obejmujący oskrzela pośrednie (strzałka). **B.** Przekrój poprzeczny TK. Proces ekspansywny obejmujący dystalną część oskrzela pośredniego (strzałka). **C.** Obraz bronchofiberskopii. Polipowata zmiana w oskrzeliu pośrednim (strzałka). **D.** Obraz wirtualnej bronchoskopii. Obraz wirtualnej bronchoskopii. Polipowata zmiana w oskrzeliu pośrednim (strzałka). **E.** Obraz bronchofiberskopii. Zamknięcie oskrzela pośredniego (strzałka). **F.** Obraz wirtualnej bronchoskopii. Oskrzel pośrednie zwężone, drożne (strzałka).

## Wnioski

1. W rezultacie przeprowadzonych badań stwierdzono, że na uzyskane wyniki ma zdecydowany wpływ rodzaj zastosowanego sprzętu TK.

2. Porównując wskaźniki skuteczności diagnostycznej jednoznacznie wykazano, że wirtualna bronchoskopia w technice jednorzędowej TK pozwala na wiarygodną ocenę zmian tylko w oskrzelach centralnych. Wirtualna bronchoskopia w opcji wielorzędowej TK umożliwia dodatkowo na uzyskanie diagnostycznych obrazów również oskrzeli segmentarnych.

## Piśmiennictwo:

1. Parkin DM, Bray F, Ferlay J et al. Estimating the world cancer burden: Globocan 2000. *Int J Cancer*, 2001; 94(2): 153–156.
2. Jabłonka S, Furmanik F. Rozpoznanie raka płuc w lecznictwie podstawowym. *Medycyna Rodzinna*, 2000; (3–4): 17–24.
3. Ikeda S, Yanai N, Ishikawa S. Flexible bronchofiberscope. *Keio J Med*, 1968; 17(1): 1–16.
4. Pirożyński M. Pobieranie materiału w trakcie bronchofiberoskopii. In: Pirożyński M, editor. *Bronchofiberoskopia*. Bielsko-Biała: a-medica press; 1999. p. 106–110.
5. Quint LE, Francis IR. Radiologic staging of lung cancer. *J Thorac Imaging*, 1999; 14(4): 235–246.
6. Zawin M. Staging tools for nonsmall cell lung cancer. *Respir Care Clin N Am*, 2003; 9(1): 77–118.
7. Ferretti GR, Kocier M, Calaque O et al. Follow-up after stent insertion in the tracheobronchial tree: role of helical computed tomography in comparison with fiberoptic bronchoscopy. *Eur Radiol*, 2003; 13(5): 1172–1178.
8. Spiro SG, Porter JC. Lung Cancer-Where Are We Today?: Current Advances in Staging and Nonsurgical Treatment. *Am J Respir Crit Care Med*, 2002; 166(9): 1166.
9. Urbanik A, Popiela T, Wojciechowski W et al. Diagnostyka tchawicy i drzewa oskrzelowego w metodzie bronchoskopii wirtualnej. *Polski Przegląd Radiologii*, 1999; 64(2): 132–135.
10. Ferretti GR, Knoplich J, Bricault I et al. Central airway stenoses: preliminary results of spiral-CT-generated virtual bronchoscopy simulations in 29 patients. *Eur Radiol*, 1997; 7(6): 854–859.
11. Hoppe H, Walder B, Sonnenschein M et al. Multidetector CT virtual bronchoscopy to grade tracheobronchial stenosis. *AJR Am J Roentgenol*, 2002; 178(5): 1195–1200.
12. Rapp-Bernhardt U, Welte T, Doehring W et al. Diagnostic potential of virtual bronchoscopy: advantages in comparison with axial CT slices, MPR and mIP? *Eur Radiol*, 2000; 10(6): 981–988.
13. De Wever W, Vandecaveye V, Lanciotti S et al. Multidetector CT-generated virtual bronchoscopy: an illustrated review of the potential clinical indications. *Eur Respir J*, 2004; 23(5): 776–782.
14. Hoppe H, Dinkel HP, Walder B et al. Grading airway stenosis down to the segmental level using virtual bronchoscopy. *Chest*, 2004; 125(2): 704–711.
15. Vining DJ, Shifrin RY, Haponik EF et al. Virtual bronchoscopy. *Radiology*, 1994; 193(P): 261.
16. Liewald F, Lang G, Fleiter T et al. Comparison of virtual and fiberoptic bronchoscopy. *Thorac Cardiovasc Surg*, 1998; 46(6): 361–364.
17. McAdams HP, Goodman PC, Kussin P. Virtual bronchoscopy for directing transbronchial needle aspiration of hilar and mediastinal lymph nodes: a pilot study. *AJR Am J Roentgenol*, 1998; 170(5): 1361–1364.
18. Vining DJ, Liu K, Choplin RH et al. Virtual bronchoscopy. Relationships of virtual reality endobronchial simulations to actual bronchoscopic findings. *Chest*, 1996; 109(2): 549–553.
19. Rapp-Bernhardt U, Welte T, Budinger M et al. Comparison of three-dimensional virtual endoscopy with bronchoscopy in patients with oesophageal carcinoma infiltrating the tracheobronchial tree. *Br J Radiol*, 1998; 71(852): 1271–1278.
20. Fleiter T, Merkle EM, Aschoff AJ et al. Comparison of real-time virtual and fiberoptic bronchoscopy in patients with bronchial carcinoma: opportunities and limitations. *AJR Am J Roentgenol*, 1997; 169(6): 1591–1595.
21. Finkelstein SE, Summers RM, Nguyen DM et al. Virtual bronchoscopy for evaluation of airway disease. *Thorac Surg Clin*, 2004; 14(1): 79–86.
22. Gladish GW, Haponik EF. Virtual Bronchoscopy. In: Bolliger CT, Matchur PN, editors. *Interventional Bronchoscopy*. Basel: Karger; 2000. p. 253–266.
23. Hoppe H, Thoeny HC, Dinkel HP et al. [Virtual laryngoscopy and multiplanar reformats with multirow detector CT for detection and grading of upper airway stenosis]. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfah*, 2002; 174(8): 1003–1008.
24. Finkelstein SE, Summers RM, Nguyen DM et al. Virtual bronchoscopy for evaluation of malignant tumors of the thorax. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2002; 123(5): 967–972.
25. Remy J, Remy-Jardin M, Artaud D et al. Multiplanar and three-dimensional reconstruction techniques in CT: impact on chest diseases. *Eur Radiol*, 1998; 8(3): 335–351.
26. Gilkeson RC, Ciancibello L. Virtual bronchoscopy: Technical Features and Clinical Applications. *Appl Radiol*, 2003; 32(4): 33–39.
27. Gore MA, Joshi AR, Nagarajan G et al. Virtual bronchoscopy for diagnosis of inhalation injury in burnt patients. *Burns*, 2004; 30(2): 165–168.
28. Khan MF, Herzog C, Ackermann H et al. Virtual endoscopy of the tracheo-bronchial system: sub-millimeter collimation with the 16-row multidetector scanner. *Eur Radiol*, 2004; 14(8): 1400–1405.
29. Finkelstein SE, Schrupp DS, Nguyen DM et al. Comparative evaluation of super high-resolution CT scan and virtual bronchoscopy for the detection of tracheobronchial malignancies. *Chest*, 2003; 124(5): 1834–1840.
30. Jones CM, Athanasiou T. Is virtual bronchoscopy an efficient diagnostic tool for the thoracic surgeon? *Ann Thorac Surg*, 2005; 79(1): 365–374.